

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МИКРОСТРУКТУРА ПОРОШКОВЫХ ЛИГАТУР НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Главатских М.В.

Руководители - А.В. Поздняков, к.т.н. С.В. Махов

НИТУ «МИСиС», г. Москва

mariaglavatskih@yandex.ru

В литейном производстве лигатуры занимают значительную долю в объеме шихтовых материалов: в зависимости от химического состава до 50 % сплавов. Ко всем лигатурам можно применить следующие основные требования: максимальная дисперсность интерметаллических включений, их равномерное распределение по объему, отсутствие крупных неметаллических включений.

Лигатуры получают двумя основными способами: сплавлением чистых компонентов и восстановлением легирующего металла из его соединений [1]. В промышленности до недавнего времени для модифицирования заэвтектических силуминов использовали лигатуру Cu-P [2, 3], но в последнее время все чаще используются фосфористые литые лигатуры на основе Al [4]. Как известно, наиболее эффективным модификатором эвтектики является Sr [5]. Производство фосфористых лигатур литьем весьма сложное и экологически вредное, поскольку чистый фосфор летуч и нестабилен. Применение порошковых лигатур позволит значительно повысить эффективность модифицирования и снизить время ее усвоения. При этом использование для получения лигатур фосфора в виде стабильных соединений (например, Fe_2P) позволит снизить вредность производства.

Целью данной работы является разработка новых порошковых алюмофосфористых лигатур, в том числе для комплексного модифицирования силуминов, исследование их микроструктуры и фазового состава.

С использованием исходных порошков алюминия А99, феррофосфора Fe_2P и стружки сплавов АК12пч [6], Al-10Fe и Al-10Sr были получены порошковые смеси двух составов: Al-10Si-8Fe-2P и Al-5Fe-5Sr-0,5P. Для получения порошковых смесей использовали 4-барабанную центробежную планетарную мельницу (ПМ) Retsch PM 400 с воздушным охлаждением. Из полученных порошковых смесей были запрессованы «таблетки» диаметром 25 мм с усилием 3 т при свободной насыпке порошка на гидравлическом прессе СГУ160.00.00. Прессование проводили в холодную. Определение плотности проводили методом гидростатического взвешивания на аналитических весах. Металлографические исследования проводили на световом микроскопе (СМ) Neophot – 30 и сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Tescan

Vega 3 LMN. Измерение среднего размера частиц в микроструктуре образцов проводили с использованием системы анализа изображения Axiovert 200MMAT с программным обеспечением Axiovision 4.5.

В таблице 1 представлены составы исследуемых лигатур, исходные материалы и плотность. Для удобного и легкого введения лигатуры в расплав необходимо, чтобы ее плотность превышала плотность алюминиевого расплава ($2,5 \text{ г/см}^3$).

Таблица 1 - Составы полученных порошковых смесей

№	Состав смеси по шихте	Исходные порошки	ρ , г/см^3
1	Al-10Si-8Fe-2P	Al+AK12+Al10Fe+Fe2P	2,65
2	Al-5Fe-5Sr-0,5P	Al+Al10Fe+Al10Sr+Fe2P	2,73

Микроструктурный анализ полученных прессованных таблеток состава Al-10Si-8Fe-2P в световом микроскопе показал наиболее равномерное распределение частиц вторых фаз по объему таблетки только при $q = 10$ после 5 ч^{20} обработки. Показателем равномерности распределения частиц избыточных фаз служила однородность микроструктуры – отсутствие участков исходных порошков AK12.

Анализ микроструктуры прессованных таблеток состава Al-5Fe-5Sr-0,5P показал равномерное распределение частиц вторых фаз по объему таблетки при $q = 7$ после 3,5 ч обработки. Увеличение q до 10 привело к равномерному распределению избыточных фаз уже после 2 ч обработки, при этом получена более дисперсная микроструктура.

Для оценки дисперсности избыточных фаз по объему таблетки был определен их средний размер d (таблица 2). Наибольшей дисперсности частиц избыточных фаз удастся добиться при $q = 10$, при этом получается наиболее однородная структура.

Таблица 2 – Средний размер избыточных фаз d в полученных лигатурах при разных режимах обработки

Лигатура	Режим получения	d , мкм
Al-10Si-8Fe-2P	$q = 7, \tau = 5 \text{ ч}$	$2,07 \pm 0,05$
	$q = 10, \tau = 3,5 \text{ ч}$	$1,95 \pm 0,05$
	$q = 10, \tau = 5 \text{ ч}$	$1,35 \pm 0,07$
Al-5Fe-5Sr-0,5P	$q = 7, \tau = 5 \text{ ч}$	$1,7 \pm 0,12$
	$q = 10, \tau = 3,5 \text{ ч}$	$1,36 \pm 0,08$
	$q = 10, \tau = 5 \text{ ч}$	$1,15 \pm 0,07$

²⁰ Здесь и далее в статье время обработки – это чистое время без перерывов.

Методом МРСА был исследован фазовый состав полученных лигатур. Показано, что в лигатуре Al-10Si-8Fe-2P помимо алюминиевого твердого раствора присутствуют такие фазы, как Al_5FeSi , Fe_2P и FeP (рисунок 1,а). В лигатуре состава Al-5Fe-5Sr-0,5P присутствуют фазы Al_3Fe , Fe_2P и Al_4Sr (рисунок 1,б).

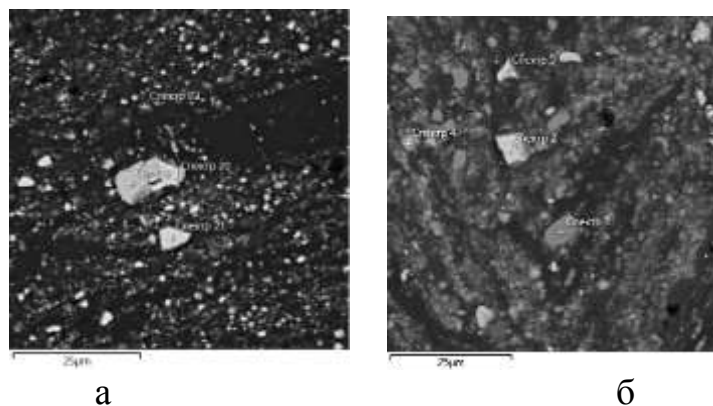


Рисунок 1 – Микроструктура лигатуры Al-10Si-8Fe-2P (а) и Al-5Fe-5Sr-0,5P (б) (РЭМ)

Заключение

Определены оптимальные режимы получения новых порошковых алюмофосфористых лигатур в высокоэнергетической планетарной мельнице, обеспечивающие минимальные потери исходного материала и однородную дисперсную микроструктуру. Методом МРСА исследован фазовый состав полученных лигатур.

Список использованных источников

- 1 Напалков В. И., Махов С. В. Легирование и модифицирование алюминия и магния. – М.: «МИСиС», 2002. – 376 с.
- 2 Xiangfa Liu, Yuying Wu, Xiufang Bian. The nucleation sites of primary Si in Al–Si alloys after addition of boron and phosphorus. *Journal of Alloys and Compounds* 391 (2005) 90–94.
- 3 Chen Chong, Liu Zhong-xia, En Bo, Wang Ming-Xing, Weng Yong-gang, Liu Zhi-yong. Influences of complex modification of P and Re on microstructure and mechanical properties of hypereutectic Al-20Si alloy.
- 4 M. Zuoa, X.F. Liua, Q.Q. Sunb, K. Jianga. Effect of rapid solidification on the microstructure and refining performance of an Al–Si–P master alloy. *Journal of Materials Processing Technology* 209 (2009) 5504–5508
- 5 A.K. Dahle, K. Nogita, S.D. McDonald, C. Dinnis, L. Lu. Eutectic modification and microstructure development in Al–Si alloys. *Materials Science and Engineering A* 413–414 (2005) 243–248
- 6 ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные ТУ- Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2000.
- 7 ГОСТ 2169 – 69. Кремний технический ТУ - Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2001.